

垂直磁気記録媒体に関する研究

著者	大内 一弘
号	746
発行年	1984
URL	http://hdl.handle.net/10097/11695

氏 名	大 内 一 弘
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 12 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 40 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業

学 位 論 文 題 目 垂直磁気記録媒体に関する研究

論 文 審 査 委 員	東北大学教授 岩崎 俊一	東北大学教授 穴山 武
	東北大学教授 村上 孝一	

論 文 内 容 要 旨

磁気記録技術は情報関連機器の記憶・記録を担う核心の技術として情報化社会の中で大きな役割を果たしている。この技術の基本的な課題は一定面積の記録媒体上にいかに多くの情報が蓄積できるかにある。

この記録の高密度化はこれまで現在の長手記録方式において、リング型磁気ヘッドの空隙の狭小化、媒体磁性層の薄層化、高抗磁力化などで達成されてきた。しかし、最近、高密度化の要求がますます高まるにつれ、これらの諸定数は極限的な値に近づきつつあり、作成上の困難さ、保護膜の必要性、記録感度の低下などを誘起し、記録性能向上と相矛盾する技術課題の努力を余儀無くされている。このような矛盾はすべて現在の長手記録方式の原理上の理由に基づいている。すなわち記録の高密度化に伴い、突き合わせ状磁化が互いに隣接磁化を弱め合い（自己減磁作用）かつ記録時ヘッド磁界と記録磁化の複雑な相互作用が回転磁化モードを形成する（記録減磁作用）などの減磁作用が記録の高密度化を妨げる。

この減磁作用から記録磁化を解放する以外、将来の著しい高密度を達成する道はないとの発想から1974年東北大学岩崎俊一教授により新しい垂直磁気記録方式が発明・提案された。この方式は媒体面に垂直な反平行磁化を形成するので、転移間には減磁界が発生しない。また補助磁極励磁型垂直ヘッドと二層膜媒体との組合せになる本方式は長手方式と相補的な関係にあると言われ、減磁界からの解放と同時に媒体厚み、抗磁力などの設定が従来方式に比べ格段に容易で、かつ本質的に超

高密度記録に有利な種々の特徴をもっている。

本研究の目的はこの垂直記録方式に用いる新しい記録媒体の開発、およびその基本的評価にある。この目的に照らし、垂直記録媒体に望まれる諸性質を考察し、その上で新たな Co-Cr 垂直異方性膜を開発した。さらにその垂直磁気異方性の評価、膜構造、磁化機構などの検討を行い、かつ垂直記録媒体の基本性能を調べ、これら相互の関連を系統的に整理、把握した。また実用上の基本課題についても解決法を提示している。

第 1 章 緒 論

本研究の動機として、まず従来の磁気記録方式である面内磁化方式の限界と、原理上の矛盾について述べ、新しい垂直磁気記録方式の必然性について論じた。その上で垂直磁気記録方式に用いる媒体に必要な性質を議論し、本研究の目的はそれらの条件を満足する新しい超高密度垂直磁気記録媒体の開発であることを述べた。

第 2 章 垂直磁気異方性膜の作成

新しい媒体として垂直磁気異方性の期待できる Co-M 系合金を選びだし、その作成に最適な高周波スパッタ法を用いて試作検討を行った。コバルトを基本的素材として用いたのはコバルト結晶が基本的には大きな一軸結晶磁気異方性を有すること、この hcp 結晶 c 軸を膜面に垂直に配向する作成法が見いだされれば垂直磁気異方性膜の開発が可能と判断したからである。また作成法として高周波スパッタ法を用いたがこれは高融点金属でも容易に成膜でき、再現性、付着強度にも優れ、かつ非対称結晶の最稠密面膜面配向も予想されるからであった。

さらに添加金属 M は高すぎる飽和磁化の減少を図り、かつ結晶軸垂直配向の損なわないよう作成法、金相学的理由、大量使用の媒体として経済性などを重視して Co, Mo, W, V などを選んだ。その結果これらはすべて結晶配向の向上に優れ、垂直磁気異方性膜もできることが発見された。中でも、Co-Cr 合金膜が他に比べ格段に強い垂直磁気異方性を示すことが明らかにされた。

従って、この Co-Cr 膜についてスパッタ条件の最適化とそれらの膜諸性質に及ぼす作用について実験的に明らかにした。たとえば、重要三大因子は予備排気圧、スパッタガス圧、基板温度であり、それぞれ主に垂直磁気異方性、結晶配向性、抗磁力に密接に関連することを明らかにし、これらを適宜制御して任意の磁気特性の垂直磁気異方性膜を作成する方法を確立した。記録媒体としての応用を考え、膜特性の均一性、膜厚制御、膜組成制御などその他の作成法上の要点も明らかにしている。

第 3 章 Co-Cr 膜の垂直磁気異方性

はじめに前章で開発した Co-Cr 膜の磁化曲線について検討した。本 Co-Cr 膜は飽和磁化 1000 emu/cc 以下、膜厚 0.2 μm 以上の領域で垂直方向に理想角形の M-H 曲線を示すことが判った。M-H 曲線の評価には従来法その他、垂直方向の減磁界のない真の磁化曲線を測定する方法を新たに開発している。抗磁力はたとえば膜厚 1 μm では 200～1400 Oe まで任意に可変であるなど、従来

の垂直磁化膜にはない多くの新しい特徴をもつことが判った。磁気トルク法による垂直磁気異方性エネルギーの評価も併せて行い $K_{\perp} = 1 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以上を $M_s = 600 \text{ emu/cc}$ で得た。

一方、Co-Cr 膜の結晶構造、微視的結晶粒の存在状態などをX線解析、電子顕微鏡観察などを通じて調べた。その結果、Co バルクと同様な格子定数をもつ稠密六方晶構造でその hcp c 軸の垂直配向は分散角度が 10° 以内に入る極めて鋭いものであること、しかも極めて微細 (500 \AA 以下) な柱状粒子群からなることを発見した。垂直磁気異方性の原因は hcp c 軸垂直配向の度合と異方性エネルギーとの密接な相関からも予想されたが、最終的には異方性磁界の温度依存性により確認されている。

さらに記録媒体としての基本動作を知るため Co-Cr 膜の磁化反転機構を磁気トルク法と抗磁力角度依存性の両面から微粒子磁石理論 (micro-magnetics) との対比で検討し、磁化反転は回転磁化機構が支配的であることを明らかにした。これをもとに柱状粒子の磁化挙動を理論的に求めたところ、記録不可能になる超常磁性粒子寸法は 100 \AA 以下と事実上問題なく、仮に単磁区粒子寸法が記録分解能を決めるとすればおよそ 500 \AA 程度の転移幅が想定され 500 kBPI の記録も可能と予想された。これは現在技術の20倍以上と著しく高密度である。

第4章 垂直記録媒体として Co-Cr 膜

本章ではまず Co-Cr 膜を垂直記録媒体として用いた場合の媒体定数と記録性能の基本的関連について概略を述べた。次に最も実用的な媒体である Co-Cr 層に裏打ち軟磁性層を施した二層媒体を取り上げ、その基本因子、裏打ち層厚み、Co-Cr 記録層厚み、抗磁力などと記録・再生両感度との関係を実験的に求め、垂直記録時の各層の役割と動作を考察した。これらにより従来長手方式との相補的關係や裏打ち層のヘッドとしての役割、抗磁力は記録分解能に関係しないなど垂直磁気記録方式の基本的な特徴を確かめることができた。

垂直記録では媒体内に反平行垂直磁化が形成されることが必要だが、これを確認するため、記録後の媒体にビッター法を適用し、垂直磁化転移の観察を行った。その結果、Co-Cr 媒体裏面より表面まで突き抜けて磁化が浸透し、極めて狭い垂直磁化転移の形成されていることが判った。この鋭い磁化転移は Co 膜では見られず、Co-Cr 膜にしてはじめて見られるものであった。

さらに超高压電子顕微鏡のローレンツ法により磁化転移の詳細を調べ、柱状粒子を磁化の単位とする微視的転移モデルを提案した。すなわち磁化転移は粒子寸法程度に狭いものと予想され、磁化機構の検討結果とも一致している。また二層膜媒体の観察結果から裏打ち層の閉磁路形成の様子が明らかにされた。さらに膜断面にローレンツ電子顕微鏡法を初めて試み、磁化単位の寸法が粒子寸法程度なことを確かめ垂直磁区も明瞭に観測できている。これらから垂直磁化粒子群が二次元的に分布した磁化転移構造モデルを提案した。

このような結果をまとめると、二層膜媒体の Co-Cr 層では理想的垂直反平行磁化、垂直磁化の膜厚方向の一様性、磁壁幅 (粒界幅) または柱状粒子径に相当する狭い転移幅などが、裏打ち層では馬蹄形磁化モードを形成しての Co-Cr 層裏面磁荷の打ち消し作用と垂直ヘッドの一部としての役割とが、垂直記録の性能を一段と優れたものになっている大きな理由である、と結論づけられる。

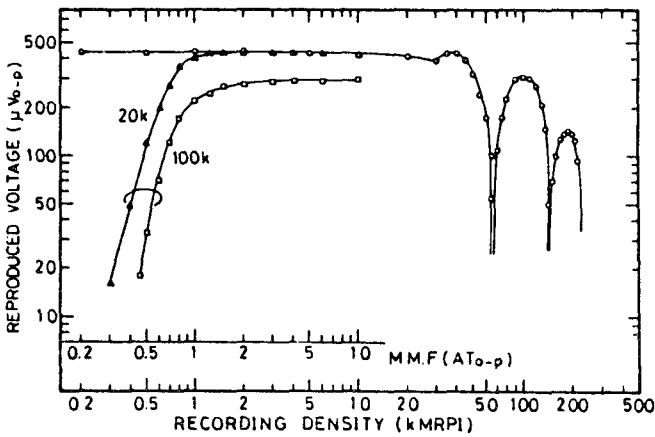
第5章 実用媒体の作成法に関する検討

前章までで本研究のおよその目的は達せられたが、さらにCo-Crスパッタ膜、二層膜媒体を実用化していく場合の基本的問題について論じた。

軟磁性裏打ち層の作成法ではCo-Cr膜の垂直磁気異方性を損なわない作成条件を探究した。これにはCo-Cr膜の基板としての条件や、軟磁性膜の結晶配向、磁気特性とスパッタ条件との関連も含んでいる。これらの結果から同一スパッタ条件で両層ともに作成することが好都合で、連続量産に支障のないことが判った。

次にCo-Cr層、NiFe軟磁性裏打ち層ともに高速低温スパッタ（1μm/min）が可能なことを実験的に証明した。この場合、記録媒体としての性能も損なわれず（図1参照）、非耐熱有機フィルム（PET）も基板として可能なことなど、量産のみならず経済性にも優れた方法を示し得た。

また大型スパッタ装置を用いて均一性、連続生産の基本実験なども行ったが、いずれも問題なく量産性の展望は明るいと考えられた。



媒体 Co-Cr 膜/Ni-Fe
=0.20/0.64 μm
堆積速度 1 μm/min
Co-Cr 層 Hc = 720 Oe
Ms = 720 emu/cc
Ni-Fe 層 Hc = 10 Oe
μi = 160
μm = 290
ヘッド Tm = 0.5 μm
W = 2 mm
Nrec = 100 turns
Nrep = 500 turns

図1 試作したCo-Cr二層膜媒体の記録性能
（高速マグネトロンスパッタ法による）

第6章 総括

本研究の各章で得られた結果を総括した。概ね初期の目的に沿った成果が達成されていることを述べ、さらに今後の発展に必要な研究課題を提起し、最後に総合結論を述べた。

むすび

以上が本研究の概要であるが垂直磁気記録方式の提案とともに開始した本研究において、磁気特性、記録特性双方の点で極めて新しく優れた性質を持ったCo-Cr記録媒体の開発が行われ、十分にその目的が達成されたと言える。実用性もその予想をはるかに超えるもので新しい高性能磁気記録媒体として市場に現われるのも近い将来であると予想される。

審 査 結 果 の 要 旨

垂直磁気記録は、電気信号を磁気テープなどの磁性層に対して面に垂直な方向の磁石として記録する方式である。この方法では、隣接している磁石（信号）間に減磁作用が起こらないため、今までの長手記録に比べて遥かに高い密度で信号を記録することができる。

著者は提案の当初からこの研究に従事し、この方式に用いる記録媒体を世界に先駆けて開発してきた。

本論文は新しい垂直磁気記録媒体としての Co-Cr 合金薄膜について、その作製方法、物理的諸性質および記録再生特性の評価などに関する研究結果をまとめたもので、全編 6 章よりなる。

第 1 章は緒論であり、本研究の目的と背景を述べている。

第 2 章では、Co-M 系合金の薄膜を高周波スパッタ法によって試作し、その磁気特性を評価した結果について詳細に述べている。M として Cr を添加すると、面に垂直な磁化容易軸と高い飽和磁化とを同時に実現するようになり、優れた垂直磁気記録媒体となることを見いだしている。さらに Co-Cr 膜を作製するための条件を調べ、ほぼ最適な方法を確認している。これは記録媒体における新しい分野を開いたものといえる。

第 3 章では、Co-Cr 膜が面に垂直な磁化容易軸を示す原因について検討している。すなわち、合金膜固有の大きい結晶磁気異方性と微細な柱状結晶構造を持つためであることを明らかにしているが、これは Co-Cr 膜による高密度記録の可能性を具体的に裏付けた重要な知見である。

第 4 章では、試作した Co-Cr 膜の記録再生特性を評価している。Fe-Ni 合金などの薄い軟磁性膜上に Co-Cr 膜を被着した磁気ディスクを用い、現用の長手方式に比べて十倍以上高密度な記録ができることを確認し、さらに磁化の転移付近における磁区を観察してその微細構造に関する有用な知見を得ている。

第 5 章では、マグネトロンスパッタ法による Co-Cr 膜の高速作製法を検討し、その量産化の可能性を明らかにしている。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、新しい垂直磁気記録媒体の研究を行い、その原理と作製法および記録分解能などに関する多くの基礎資料を得たもので、磁気工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。